

光負帰還狭線幅半導体レーザ用Siリングフィルタ構造最適化の研究

著者	相澤 元太
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	90
号	1
ページ	152-153
発行年	2021-08-20
URL	http://hdl.handle.net/10097/00132855

修士学位論文要約（令和 3 年 3 月）

光負帰還狭線幅半導体レーザ用 Si リングフィルタ構造最適化の研究

相澤 元太

指導教員：八坂 洋

Study on Structural Optimization of Si Ring Filter for Optical Negative Feedback Narrow Linewidth Semiconductor Laser

Genta AIZAWA

Supervisor: Hiroshi YASAKA

In this study, we optimized the structure of Si ring filter to reduce the lasing spectral linewidth of the optical negative feedback narrow linewidth semiconductor laser source. We designed Si ring filter with an optimal structure by reducing optical loss caused by the monitor waveguide. By utilizing the Si ring filter, the spectral linewidth of optical negative feedback semiconductor laser source was able to be reduced to 49 kHz. To improve performance further, we re-designed the structure of the Si ring filter by focusing on the field coupling coefficient between laser and Si ring filter and propagation loss of the Si waveguide. It was confirmed numerically that the field coupling coefficient can be improved by designing the optical input/output waveguide and lasing spectral linewidth of sub-kHz level can be achieved by reducing the propagation loss of the ring waveguide to less than 0.2 cm^{-1} .

1. はじめに

近年，ICT によるスマート化やクラウドサービス等の先進技術の普及と拡大により，通信容量増大が急務となっている．このため，従来の伝送容量を飛躍的に向上可能なデジタルコヒーレント光通信の研究が進んでいる．この光通信では光の位相情報を利用するため，小型で低位相雑音な狭線幅半導体レーザ光源が必要である．我々の研究室では，偏波と発振モードを一致させたコヒーレントな帰還光を用いることで半導体レーザの周波数変調を誘起する光負帰還法を提案している．先行研究では光負帰還法の原理検証実験として FP(Fabry-Perot)エタロンを用いて光負帰還狭線幅半導体レーザ光源を構成することで，発振スペクトル線幅を 3 kHz にまで狭窄化したことを報告している [1]．また，小型化のために Si リングフィルタを集積した光負帰還狭線幅半導体レーザ光源を構成することで，発振スペクトル線幅を 100 kHz にまで狭窄化している[2]．本研究では，光負帰還狭線幅半導体レーザ光源に用いる Si リングフィルタの構造最適化を行うことで先行研究を凌駕する発振スペクトル線幅狭窄化の実現を目的とした．

2. 1pass 構造反射型 Si リングフィルタの構造設計

図 1 に設計した 1pass 構造反射型 Si リングフィルタの構造を示す．

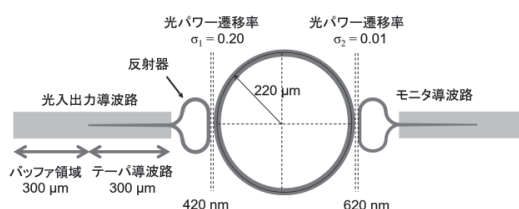


図 1. 1pass 構造反射型 Si リングフィルタの詳細構造

設計では Si リングフィルタの導波路の伝搬損失を実測値の 0.83 cm^{-1} とした．リング導波路は半径 $220 \mu\text{m}$ とすることで，FSR を 50 GHz に設定した．リング導波路左側の光入出力導波路には，レーザとの結合効率を向上させるために長さ $300 \mu\text{m}$ のバッファ領域と長さ $300 \mu\text{m}$ のテーパ導波路を設けた．リング導波路と光入出力導波路の間を 420 nm に設定することで，光パワー遷移率 σ_1 を 0.20 とした．リング導波路の右側には，検証実験時に光結合を確認するためのモニタ導波路を設置した．このモニタ導波路との光パワー遷移率 σ_2 が高いとリング導波路の等価的な光損失が増大するため，リング導波路とモニタ導波路の距離を 620 nm にすることで σ_2 を 0.01 まで低減した．本構造の Si リングフィルタの周波数弁別効率は 21.7

THz⁻¹となり先行研究[2]の2.1倍に向上した．図2に本構造のSiリングフィルタを用いた場合の光負帰還狭線幅半導体レーザ光源の伝達関数 H_{FB} の解析結果を示す．本解析から，電界結合係数 κ が0.17以上の時に，先行研究[2]を凌駕する発振スペクトル線幅狭窄量 -20 dB 以下が得られることが明らかとなった．

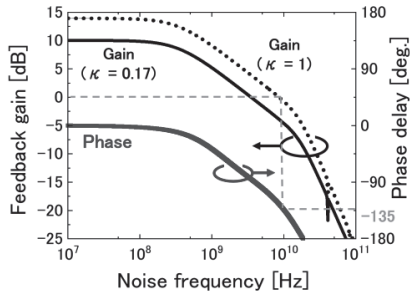


図2. 光負帰還狭線幅半導体レーザ光源の伝達関数の雑音周波数依存性

3. 光負帰還狭線幅半導体レーザ光源の原理検証実験

上記設定に基づいて試作したSiリングフィルタを集積した光負帰還狭線幅半導体レーザ光源を構成し発振スペクトル狭窄化実験を行った．フリーランニング時と光負帰還時の発振スペクトル特性を図3示す．フリーランニング時に10 MHzであった半導体レーザの発振スペクトル線幅が49 kHzに狭窄化されていることが確認でき，先行研究の-20 dBを凌駕する-23 dBの発振スペクトル線幅狭窄量を確認した．

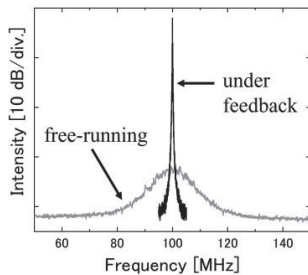


図3. フリーランニング時と光負帰還時の発振スペクトル特性

4. 更なる狭窄化に向けた検討

図4に光入出力導波路構造と電界結合係数の関係について解析した結果を示す．本解析から，テーパ導波路の長さが350 μm ，バッファ領域の長さが400 μm の時に電界結合係数は最大の0.42となることが明らかとなった．また，図5に光フィルタを構成する光導波路の伝搬損失と光負帰還狭

線幅半導体レーザ光源の発振スペクトル線幅の関係を示す．本解析により，リング導波路の伝搬損失を0.2 cm^{-1} 以下に低減することでsub-kHzレベルの発振スペクトル線幅を実現可能であることが明らかになった．

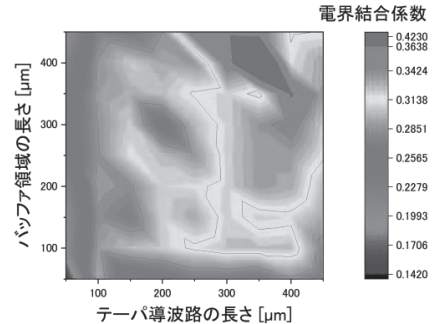


図4. テーパ導波路とバッファ領域の長さと電界結合係数の関係

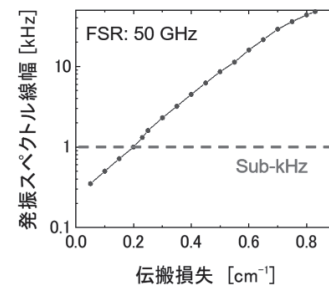


図5. 光導波路の伝搬損失と光負帰還狭線幅半導体レーザ光源の発振スペクトル線幅の関係

5. まとめ

本研究では，モニタ導波路に起因する光損失を低減したSiリングフィルタを用いた光負帰還狭線幅半導体レーザ光源により，49 kHzの発振スペクトル線幅を実現した．また，リングフィルタの光入出力導波路構造を最適化し，伝搬損失を0.2 cm^{-1} 以下に低減することでsub-kHzレベルの発振スペクトル線幅を実現可能であることを示した．

文献

- [1] K. Aoyama, et al.: "3-kHz spectral linewidth laser assembly with coherent optical negative feedback," IEEE Photonics Technol. Lett., 30(3), 277–280 (2018).
- [2] Sato, S., Aizawa, G., Yokota, N., & Yasaka, H. (2020). Performance improvement of optical negative feedback laser by reducing feedback loop length. IEICE Electronics Express, 17(4). <https://doi.org/10.1587/elex.17.20190750>